田间转 *Bt* 基因水稻上稻飞虱卵量、孵化率及天敌作用

高明清[1], 侯守鹏[1], 蒲德强[1], 时 敏[1], 叶恭银[1], 彭于发[2], 陈学新[1,*]
(1. 浙江大学昆虫科学研究所, 农业部作物病虫分子生物学重点开放实验室, 水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310029;
2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100094)

摘要: 为了评估转基因水稻释放后对非靶标害虫及其天敌的影响, 本研究在浙江大学实验农场和中国水稻研究所实验农场2008 和2009 年连续两年监测了转 *Bt* 基因水稻对田间稻飞虱着卵量、卵孵化率、卵被捕食率、卵被寄生率和卵死亡率的影响。结果表明: 两年2 个调查地点3 个水稻品系(克螟稻1、克螟稻2 和秀水11)上的稻飞虱平均每分蘖着卵量、卵孵化率、卵被捕食率和卵被寄生率的趋势基本一致, 而且田间3 个水稻品系上稻飞虱卵量的高峰期均持续2 周左右; 但是两年2 个调查地点3 个水稻品系上稻飞虱卵死亡率则没有一致的趋势。此外, 总体上3 个水稻品系上稻飞虱平均每分蘖着卵量、卵孵化率、卵被捕食率、卵被寄生率和卵死亡率差异均不显著($P>0.05$)。因此, 稻田中转 *Bt* 基因水稻对稻飞虱卵没有显著的影响。

关键词: 转 *Bt* 基因水稻; 稻飞虱; 着卵量; 孵化率; 被捕食率; 被寄生率; 天敌
中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2011)04-0467-10

Effects of *Bt* rice on the number and hatch rate of planthopper eggs and their attack by natural enemies in paddy fields

GAO Ming-Qing[1], HOU Shou-Peng[1], PU De-Qiang[1], SHI Min[1], YE Gong-Yin[1], PENG Yu-Fa[2], CHEN Xue-Xin[1,*] (1. State Key Laboratory of Rice Biology and Ministry of Agriculture Key Laboratory for Molecular Biology of Crop Insects and Pathogens, Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to assess the effects of transgenic rice on non-target pests and their natural enemies after release, a field study was conducted over 2 years to determine the effects of transgenic *Bt* rice on population dynamics, hatchability and mortality of planthoppers eggs and their attack (predation and parasitism) by natural enemies at the Experimental Farm of Zhejiang University and the Experimental Farm of China National Rice Research Institute in 2008 and 2009. The results showed that the trends of population dynamics and hatchability of planthopper eggs and their predation and parasitism rate were almost the same on the three different rice lines (Kemingdao1, Kemingdao2 and Xiushui11) at two experimental farms in 2 years. Moreover, the peak of number of planthopper eggs on all the three rice lines lasted about two weeks in paddy fields. However, no uniform trend of the mortality of planthopper eggs was found on the three rice lines at two experimental farms in 2 years. Furthermore, no significant difference was found on population dynamics, hatchability and mortality of planthoppers eggs and attacks (predation and parasitism) by natural enemies among the three rice lines in general ($P>0.05$). We so conclude that *Bt* rice does not significantly affect the eggs of planthoppers in paddy fields.

Key words: Transgenic *Bt* rice; planthopper; number of eggs; hatchability; predation; parasitism; natural enemies

基金项目: 国家重点基础研究发展规划("973"计划)项目(2007CB109202, 2001CB109004); 转基因生物新品种培育科技重大专项(2008ZX08011-006, 2009ZX08011-008B)
作者简介: 高明清, 男, 1981 年9 月生, 福建福安人, 博士, 从事转基因植物对动植物生态安全性评价方向研究, E-mail: 10716079@zju.edu.cn
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: xxchen@zju.edu.cn
收稿日期 Received: 2010-09-20; 接受日期 Accepted: 2011-03-07

转基因作物对生物多样性的影响是人们普遍关注的问题。稻田是一个复杂的生态系统，水稻又是稻田生态系统的基础，转基因水稻的引入必然会影响以水稻为基础的整个稻田生态系统。转基因水稻本身的物理性状、农艺性状、营养物质、挥发性和非挥发性次生物质等都可能产生非预期的变化。这种变化进而有可能影响到以水稻为食物的非靶标植食性昆虫。非靶标植食性昆虫生物学特性包括生长发育、繁殖和产卵行为等的变化又有可能对以植食性昆虫为寄主的寄生性天敌或者以植食性昆虫为食物的捕食性天敌造成非预期的影响，从而进一步引起稻田群落结构的变化。目前的研究表明，在取食转 *Bt* 基因水稻的褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 蜜露、1 龄若虫、2～3 龄若虫、4～5 龄若虫及成虫体内均可检测到 Bt 毒蛋白(Bernal *et al.*, 2002；陈茂等，2005；Bai *et al.*, 2006)。转 *Bt* 基因水稻不利于褐飞虱的产卵和取食(陈茂等，2003a)，而且可导致白背飞虱 *Sogatella furcifera* 种群生殖力显著下降(周霞等，2006)，但对黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps* 的雌成虫寿命、产卵量、产卵持续时间和净生殖率有促进作用(周霞等，2005)。同时，以取食转基因水稻的褐飞虱为食物，捕食性天敌——龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 的发育历期、化蛹、羽化、蛹和成虫重量以及雄成虫的活动能力均没有受到负面影响(Bai *et al.*, 2006)。与非转基因水稻田相比，转 *Bt* 基因水稻田中稻飞虱成虫种群数量并不会更高，捕食性天敌——黑肩绿盲蝽 *Cytorhinus lividipennis* 种群也没有受到负面的影响(Chen *et al.*, 2007)。此外，转 *Bt* 基因水稻田中白背飞虱和黑尾叶蝉若虫密度分别于移栽后早中期和中后期显著高于对照非转基因水稻田(刘志诚等，2002)。飞虱和叶蝉的卵寄生蜂——稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 和叶蝉柄翅小蜂 *Lynaenon longicrus* 在稻田中的扩散规律是以 Bt 稻区向非 Bt 稻区扩散为主(陈茂等，2003b)。田俊策等(2008)认为转 *Bt* 基因水稻对靶标害虫主要寄生蜂，尤其是茧蜂可能具一定的负面影响。

稻飞虱主要包括 3 种，即褐飞虱 *N. lugens*、白背飞虱 *S. furcifera* 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus*，是我国和亚洲许多水稻种植国家的主要威胁之一(程家安等，2008)。稻田中天敌的保护和利用一直被认为是控制稻飞虱种群的有效措施。稻飞虱卵期的寄生蜂优势类群主要有稻虱缨小蜂 *A. nilaparvatae*、拟稻虱缨小蜂 *A. paranilaparvatae* 和长管缨小蜂 *A. longitubulosus* 3 种(赵士熙等，1993)。其中稻虱缨小蜂是浙江省稻飞虱卵寄生蜂优势种(Yu *et al.*, 2001)。稻飞虱卵期的捕食性天敌主要是黑肩绿盲蝽 *C. lividipennis*、黑胸盲蝽 *Tytthus chinensis*、*Tytthus mundulus*、黑肩褐盲蝽 *Tytthus* sp. 等盲蝽科(Miridae)天敌(何俊华，1991)。此前的研究关注了转 *Bt* 基因水稻对稻飞虱田间种群动态、稻飞虱若虫和成虫的生物学特性等方面的影响，而对稻飞虱的卵以及卵被寄生和被捕食等的影响却未见报道。

本研究调查了大田中转 *Bt* 基因水稻对稻飞虱卵及其卵被寄生和被捕食的影响，旨在为评估转 *Bt* 基因水稻的生态风险提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

转 *cry1Ab* 基因的水稻由浙江大学和加拿大渥太华大学合作培育，其亲本材料为粳稻品种秀水 11，双元载体为 PKUB，其 T-DNA 区内含有来自玉米的启动子 *ubiquition* 驱动的 *cry1Ab* 基因，以及由 CaMV 35S 启动子驱动的抗潮霉素(hygromycin)的 *hpt* 基因和抗卡那霉素的 *npt* Ⅱ 以及 *gus* 基因，所用农癌杆菌菌株为 EHA105，MOG301 和 MOG101，通过农癌杆菌介导法将双元载体导入粳稻幼穗愈伤组织中，然后经过在含有不同浓度潮霉素的培养基上进行数次筛选，获得一批转 *cry1Ab* 基因水稻株系，通过专家组鉴定命名为“克螟稻 1”和“克螟稻 2”(舒庆尧等，1998；项友斌等，1999)。本试验所使用的 2 个转 *Bt* 基因水稻品系为克螟稻 1 和克螟稻 2，其亲本材料秀水 11 作为对照。水稻种植在塑料盘内(25 cm 长 ×20 cm 宽 ×3 cm 高)，外罩养虫笼(30 cm 长 ×25 cm 宽 ×30 cm 高)，营养液培养(Yoshida *et al.*, 1976)。

褐飞虱高龄若虫采自杭州水稻田，并放置于带秀水 11 水稻苗的养虫笼中培养。待新一代的褐飞虱若虫孵化以后，分别转移至秀水 11、克螟稻 1 和克螟稻 2 水稻苗上饲养以后用于实验。来自秀水 11 水稻苗的褐飞虱种群用作对照。如果没有特别注明，水稻苗和褐飞虱均放置于人工气候箱中(温度：28 ± 1℃，相对湿度：75% ± 2%，光周期 14L∶10D)。

白背飞虱和灰飞虱室内种群由浙江大学昆虫科学研究所程家安教授实验室提供，用秀水 11、克螟稻 1 和克螟稻 2 水稻苗维持于上述人工气候箱中。

1.2 褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱对转 *Bt* 基因水稻的产卵选择性

取 20 日龄秀水 11、克螟稻 1 和克螟稻 2 水稻

苗各 60 株，分成 3 份，每份 20 株按照随机区组排列方式分布于塑料盘内(25 cm 长 ×20 cm 宽 ×3 cm 高)，外罩养虫笼(30 cm 长 × 25 cm 宽 × 30 cm 高)。每个笼子分别放入 20 头怀卵褐飞虱、白背飞虱或灰飞虱雌成虫，产卵 6 d 后移走成虫(在本研究条件下褐飞虱卵期为 7 d，因此 3 种稻飞虱均产卵 6 d)。解剖水稻苗统计每株稻苗上稻飞虱卵数量。每种稻飞虱产卵选择性实验各重复 3 次。

1.3　田间种植和栽培

在浙江省选取 2 个试验地点，分别在浙江大学实验农场(杭州华家池)和中国水稻研究所实验农场(富阳)建造农业部批准的 Bt 水稻中试圃。两个调查地点气候条件均属温暖湿润的亚热带季风气候。每个地点的实验田分割成等大的 3 个小区，每个小区种植 1 个品系的水稻，中间为秀水 11 品系，两端分别为克螟稻 1 和克螟稻 2 品系。各小区面积约为 20 m ×25 m(浙江大学实验农场)和 20 m ×30 m(中国水稻研究所实验农场)。不同试验地点的小区间以一条宽约 50 cm 田埂隔开，整个试验田的四周均种植 5 行非转基因对照水稻作为保护行。稻苗采用单本手工移植(约为 16.5 cm ×16.5 cm)。实验区内的水肥管理同其他常规水稻，但整个生长期不施用农药。

1.4　调查方法

水稻苗移植 30 d 后开始调查。浙江大学实验农场每周调查 1 次，每次在每个小区随机抽取 10 丛水稻植株，剪取稻丛中间的主要分蘖 1 根；中国水稻研究所实验农场每两周调查 1 次，每次在每个小区随机抽取 10 丛水稻植株，分别剪取稻丛中间和外围的主要分蘖各 1 根。从土壤表面上方开始剪下分蘖，并保湿放置袋子中，带回室内解剖镜检。

1.5　数据统计与分析

稻飞虱卵在孵化、被寄生、被捕食和非正常死亡状况下很难判断属于哪一种飞虱。解剖出被寄生的稻飞虱卵进行清水培养，有部分未能最终羽化出成蜂，因此也很难判断是被哪种缨小蜂寄生。被捕食的卵更无从判断被何种盲蝽取食。因此，本研究在数据处理时将卵量、正常孵化率、被寄生率、被捕食率和死亡率以稻飞虱种团的形式合并统计。解剖整根水稻分蘖茎干和叶片的每一个部分。查得的稻飞虱卵分健康、孵化、被寄生、被捕食和死亡 5 类记录。健康的稻飞虱卵放置于培养皿的滤纸上保湿培养直至可以判断为是否被寄生或者寄生蜂羽化为止。稻飞虱的空卵壳如果没有卵帽，则记录为孵化。稻飞虱卵两端透明空白直至隐成蜂期和见到羽化孔均记录为被寄生。稻飞虱卵干瘪但还可见部分卵汁，则记录为被捕食。稻飞虱卵变黑色或者其他情况判定不正常者则记录为死亡。着卵量(即总卵数)为健康、孵化、被寄生、被捕食和死亡卵数之和。孵化率、被寄生率、被捕食率和死亡率为各项卵数与总卵数之比率。

本文中所有的数据均采用统计软件 SPSS 16.0 进行处理。褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱在 3 个水稻品系上的产卵选择性以及田间调查的稻飞虱在 3 个水稻品系上的着卵量比较均采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验。检验之前先进行 Levene 方差齐性检验，方差齐性且整体比较组间有显著差异时采用最小显著差数法(least significant difference，LSD)法进行多重比较，方差分析不显著时不进行多重比较。另外，田间调查数据采用非参数统计方法(Kruskal-Wallis)检验同一取样时间点 3 个水稻品系上稻飞虱卵的孵化率、被寄生率、被捕食率和死亡率百分比的差异是否显著，$P < 0.05$ 为有统计学意义。

2　结果

2.1　褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱对转 *Bt* 基因水稻的产卵选择性

由表 1 可知，室内产卵选择性实验结果表明，褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱各自在 3 个水稻品系上的产卵量差异均不显著(One-way ANOVA，$P > 0.05$)，表明 3 种稻飞虱各自对 3 个不同的水稻品系没有明显的偏好性。

2.2　水稻分蘖中飞虱着卵量动态

2008 和 2009 年浙江大学实验农场每年均调查了 11 次。中国水稻研究所实验农场 2008 年调查了 5 次，2009 年调查了 6 次。浙江大学实验农场和中国水稻研究所实验农场两年的调查结果表明 3 个水稻品系上稻飞虱平均每分蘖着卵量在整个水稻生长期内的总体趋势基本一致，而且绝大部分调查时间点上 3 个水稻品系稻飞虱平均每分蘖着卵量差异不显著。浙江大学实验农场的稻飞虱平均每分蘖着卵量在整个水稻生长期均呈现逐步上升的趋势，并延续到水稻收割；而中国水稻研究所实验农场稻飞虱平均每分蘖着卵量在整个水稻生长期均呈现先上升后下降的趋势，但是两个调查地点的稻飞虱平均每分蘖着卵量均在水稻移植后 60 d 左右开始进入高峰期(表 2，3)。

表 1 褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱在 3 个水稻品系上的产卵量

Table 1 Number of eggs laid by *Nilaparvata lugens*, *Sogatella furcifera* and *Laodelphax striatellus* on three different rice lines

稻飞虱 Planthoppers	每 20 株稻苗上着卵量(平均值 ± 标准误) Number of eggs per 20 plants (mean ± *SE*)		
	秀水 11 Xiushui11	克螟稻 1 Kemingdao1	克螟稻 2 Kemingdao2
褐飞虱 *N. lugens*	442.6 ±71.9	348.6 ±87.2	475.9 ±117.1
白背飞虱 *S. furcifera*	32.8 ±16.0	46.0 ±25.0	25.7 ±16.0
灰飞虱 *L. striatellus*	36.0 ±15.4	19.4 ±8.2	27.2 ±13.2

表 2 2008 和 2009 年浙江大学实验农场不同水稻品系上平均每分蘖稻飞虱着卵量

Table 2 Mean number of planthopper eggs per tiller on different rice lines at the Experimental Farm of Zhejiang University, in 2008 and 2009

日期 Date	每分蘖着卵量 Number of eggs per tiller		
	秀水 11 Xiushui11	克螟稻 1 Kemingdao1	克螟稻 2 Kemingdao2
2008-8-27	18.8 ±4.9 a	4.8 ±1.9 b	15.4 ±4.4 ab
2008-9-3	14.4 ±4.3 a	8.3 ±3.2 a	26.2 ±12.5 a
2008-9-10	18.3 ±5.1 a	32.3 ±7.8 a	37.6 ±9.7 a
2008-9-17	31.8 ±10.70 a	42.4 ±8.6 a	53.1 ±7.8 a
2008-9-25	51.5 ±8.5 a	67.0 ±13.6 a	70.8 ±18.3 a
2008-10-1	37.2 ±6.9 a	62.7 ±9.8 a	60.5 ±10.4 a
2008-10-8	57.5 ±10.8 a	26.5 ±7.4 b	44.8 ±7.2 ab
2008-10-15	87.0 ±18.9 a	107.2 ±33.2 a	65.7 ±11.7 a
2008-10-22	49.3 ±10.8 a	30.8 ±13.7 a	61.4 ±18.3 a
2008-10-29	96.3 ±28.3 a	60.0 ±26.6 a	63.5 ±18.0 a
2008-11-4	50.5 ±15.9 a	55.6 ±15.7 a	99.8 ±20.5 a
2009-8-22	8.9 ±3.7 a	8.7 ±3.9 a	26.6 ±8.2 b
2009-8-29	30.4 ±4.8 ab	17.0 ±5.2 a	42.6 ±8.6 b
2009-9-5	22.8 ±7.0 ab	12.0 ±3.6 a	37.0 ±8.5 b
2009-9-12	27.8 ±4.0 ab	38.0 ±8.1 a	12.8 ±4.0 b
2009-9-19	14.0 ±6.1 a	24.7 ±7.8 a	27.6 ±4.6 a
2009-9-26	50.7 ±15.2 a	45.9 ±13.8 a	37.5 ±8.8 a
2009-10-2	81.6 ±18.0 a	57.6 ±16.1 a	83.0 ±19.7 a
2009-10-10	76.8 ±22.3 a	76.4 ±17.7 a	133.0 ±27.8 a
2009-10-16	103.9 ±31.6 a	81.5 ±19.9 a	85.4 ±19.9 a
2009-10-24	89.7 ±16.6 a	87.8 ±11.7 a	56.6 ±9.0 a
2009-10-31	81.4 ±16.3 a	52.3 ±12.9 a	48.5 ±11.0 a

同一行内观测值(平均值 ± 标准误)标记相同字母则表示差异不显著($P>0.05$, LSD); 下表同。Values (mean ± *SE*) within a row followed by the same letter are not significantly different ($P>0.05$, LSD). The same for the following tables.

表 3　2008 和 2009 年中国水稻研究所实验农场不同水稻品系上平均每分蘖稻飞虱着卵量动态

Table 3　Mean number of planthopper eggs per tiller on different rice lines at the Experimental Farm of China National Rice Research Institute in 2008 and 2009

日期 Date	每分蘖着卵量 Number of eggs per tiller		
	秀水 11 Xiushui11	克螟稻 1 Kemingdao1	克螟稻 2 Kemingdao2
2008-8-27	18.8 ±4.9 a	4.8 ±1.9 b	15.4 ±4.4 ab
2008-9-8	5.8 ±1.5 a	3.6 ±1.6 a	2.7 ±1.0 a
2008-9-22	17.3 ±5.7 a	22.5 ±5.6 a	10.9 ±3.2 a
2008-10-7	35.1 ±9.9 a	47.0 ±8.1 a	45.4 ±10.0 a
2008-10-21	14.6 ±5.5 a	34.9 ±9.5 a	26.5 ±6.5 a
2008-11-4	22.9 ±5.6 a	14.5 ±4.3 a	18.8 ±4.7 a
2009-8-28	21.8 ±5.1 a	18.5 ±5.5 a	18.2 ±3.5 a
2009-9-11	22.3 ±5.1 a	21.9 ±4.9 a	14.1 ±3.1 a
2009-9-25	24.6 ±4.8 a	28.8 ±7.3 a	21.0 ±5.1 a
2009-10-9	127.4 ±21.7 a	51.3 ±10.1 b	51.9 ±10.3 b
2009-10-23	44.6 ±6.9 a	44.8 ±7.7 a	27.7 ±4.7 a
2009-11-6	31.2 ±3.9 a	30.1 ±7.0 a	15.2 ±2.6 b

2.3　水稻分蘖中飞虱卵孵化率动态

浙江大学实验农场和中国水稻研究所实验农场两年的调查结果表明 3 个水稻品系上平均每分蘖稻飞虱卵孵化率的总体趋势基本一致，而且绝大部分调查时间点上 3 个水稻品系平均每分蘖稻飞虱卵孵化率差异不显著（Kruskal-Wallis 检验，$P > 0.05$）。浙江大学实验农场 3 个水稻品系的分蘖中解剖获得的稻飞虱卵孵化率在移植后 30 – 70 d 内均保持较低且平稳的水平，而中国水稻研究所农场 3 个水稻品系的分蘖中解剖获得的稻飞虱卵孵化率在移植后呈逐渐上升的趋势，但是两个调查地点 3 个水稻品系上平均每分蘖稻飞虱卵的孵化率均在移植后 75 d 左右进入高峰期，并延续到水稻收割（图 1，2）。因此，结合稻飞虱平均每分蘖着卵量在水稻移植后进入高峰期的时间（表 2，3），3 个水稻品系上稻飞虱卵量在田间的高峰期大概持续 2 周左右的时间。

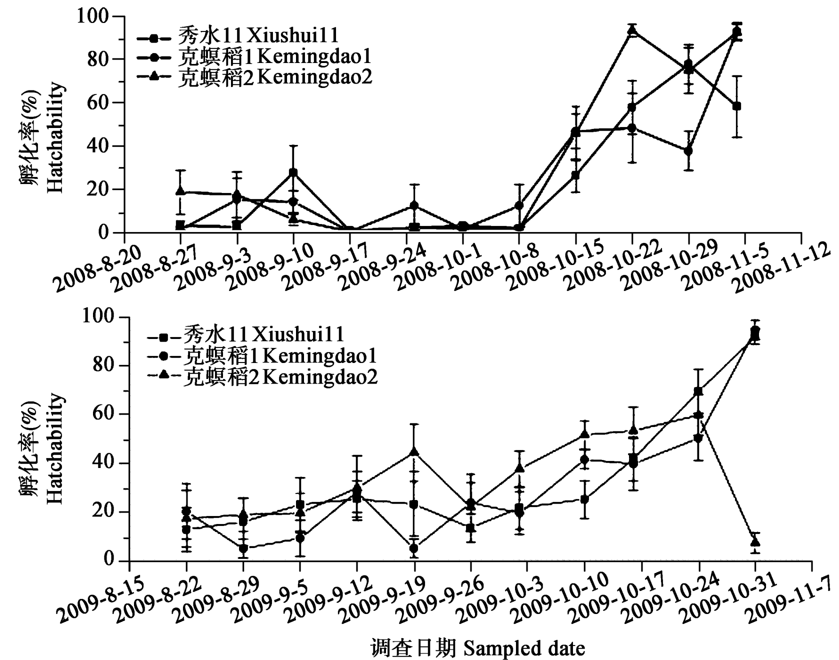


图 1　2008 和 2009 年浙江大学实验农场不同水稻品系上平均每分蘖飞虱卵孵化率

Fig. 1　Hatchability of planthopper eggs per tiller on different rice lines at the Experimental Farm of Zhejiang University in 2008 and 2009

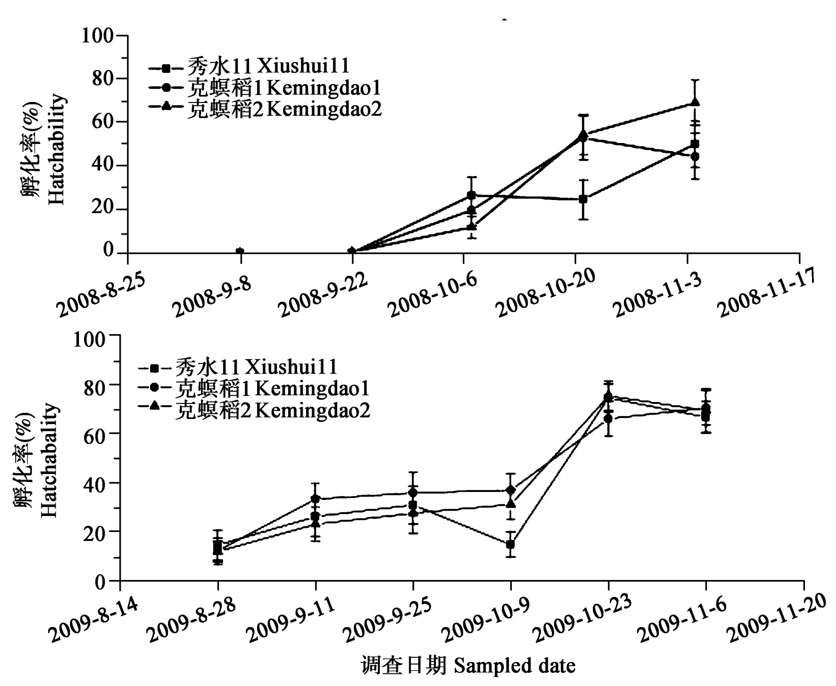


图 2　2008 和 2009 年中国水稻研究所实验农场不同水稻品系上平均每分蘖飞虱卵孵化率

Fig. 2　Hatchability of planthopper eggs on different rice lines at the Experimental Farm of China National Rice Research Institute in 2008 and 2009

2.4　飞虱卵被缨小蜂寄生的比率动态

浙江大学实验农场, 2008 年秀水 11 水稻品系上稻虱缨小蜂寄生率进入高峰期的时间要比克螟稻 1 和克螟稻 2 品系早 1 周, 但是 3 个水稻品系上寄生率在整个水稻生长期内的趋势基本一致, 均呈现先逐渐上升后迅速下降的趋势, 而且绝大部分调查时间点上 3 个水稻品系上飞虱卵被寄生率差异不显著(Kruskal-Wallis 检验, $P > 0.05$)。中国水稻研究所实验农场, 2008 – 2009 年 3 个水稻品系上田间缨小蜂寄生率趋势也基本相同, 2008 年缨小蜂寄生率均先逐渐上升后迅速下降, 2009 年缨小蜂寄生率则均维持在较平稳地且较低的水平。此外, 除 2008 年第 1 次调查时秀水 11 水稻品系上缨小蜂寄生率高于转基因水稻品系以外, 其他调查时间点上 3 个水稻品系缨小蜂寄生率差异不显著(Kruskal-Wallis 检验, $P > 0.05$)(图 3, 4)。

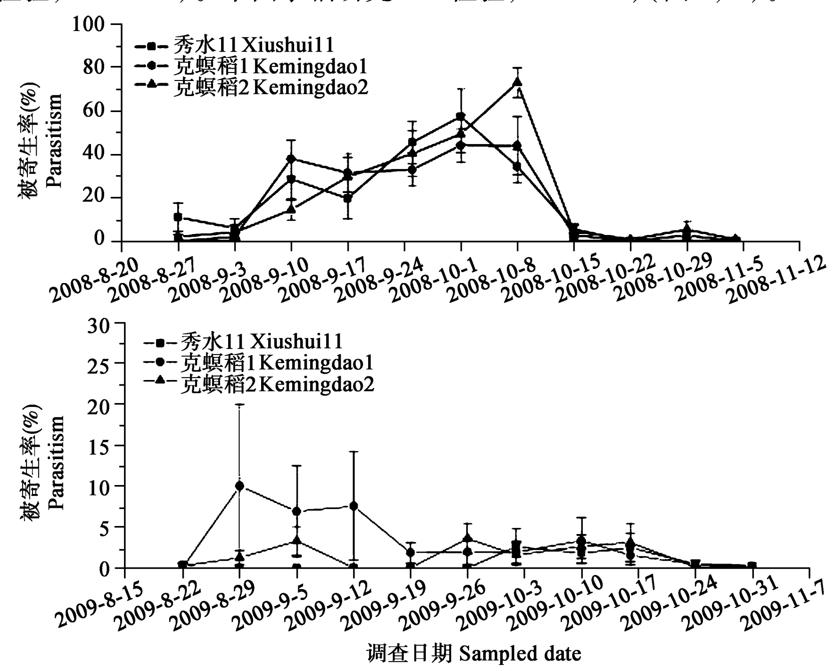


图 3　2008 和 2009 年浙江大学实验农场不同水稻品系上飞虱卵被缨小蜂寄生比率

Fig. 3　Percentage of planthopper eggs parasitized by *Anagrus* spp. on different rice lines at the Experimental Farm of Zhejiang University in 2008 and 2009

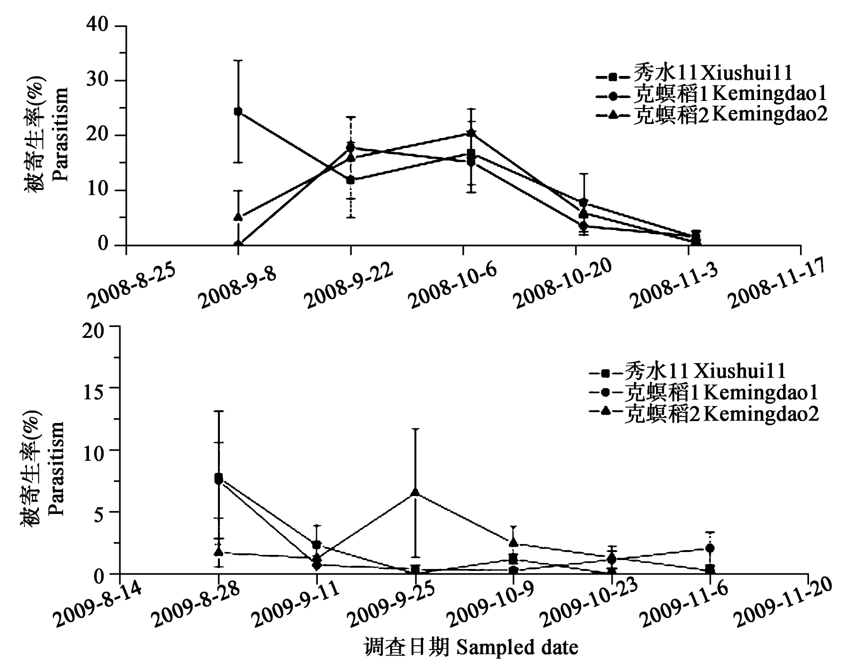


图 4 2008 和 2009 年中国水稻研究所实验农场不同水稻品系上飞虱卵被缨小蜂寄生比率

Fig. 4 Percentage of planthopper eggs parasitized by *Anagrus* spp. on different rice lines at the Experimental Farm of China National Rice Research Institute in 2008 and 2009

2.5 飞虱卵被盲蝽捕食比率动态

浙江大学实验农场，2008 年水稻生长中前期稻飞虱卵被捕食率较高，后期则较低；此外，除水稻生长后期克螟稻 1 和克螟稻 2 品系相比呈平稳趋势的对照秀水 11 有较大的波动以外，其余时期 3 个水稻品系上被捕食率的趋势基本一致；2009 年 3 个水稻品系上的飞虱卵被捕食率则在水稻生长后期趋势较为一致。中国水稻研究所实验农场，2008 年和 2009 年 3 个水稻品系上的飞虱卵被捕食率的总体趋势基本一致。2008 年水稻生长中前期 3 个水稻品系上的飞虱卵被捕食率较高，后期则较低；2009 年水稻生长前期 3 个水稻品系上的飞虱卵被捕食率较高，中后期则较低。而且，两年两个调查地点绝大部分调查时间点上 3 个水稻品系的飞虱卵被捕食率差异均不显著（Kruskal-Wallis 检验，$P > 0.05$）（图 5，6）。

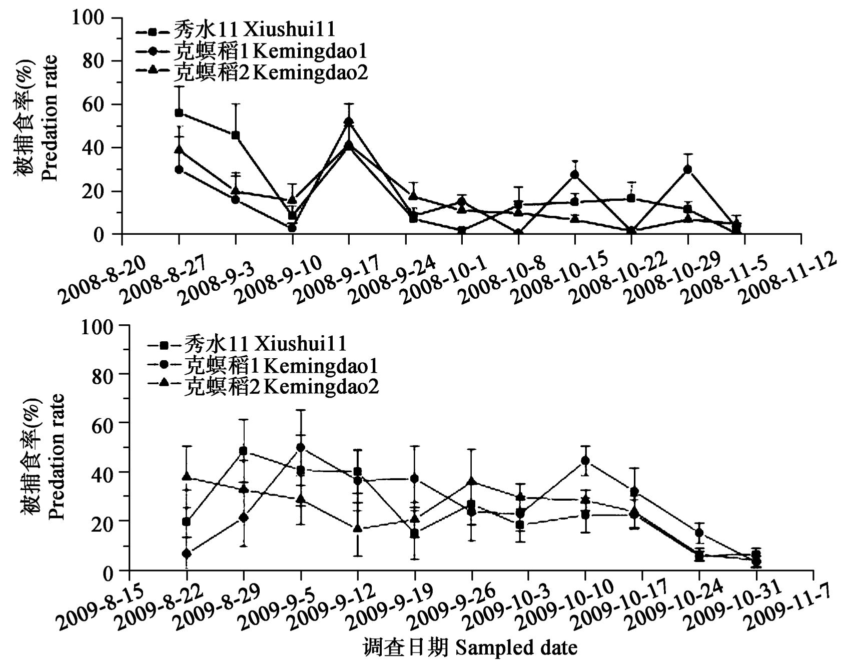


图 5 2008 和 2009 年浙江大学实验农场不同水稻品系上飞虱卵被盲蝽捕食比率

Fig. 5 Percentage of planthopper eggs preyed by plant bugs on different rice lines at the Experimental Farm of Zhejiang University in 2008 and 2009

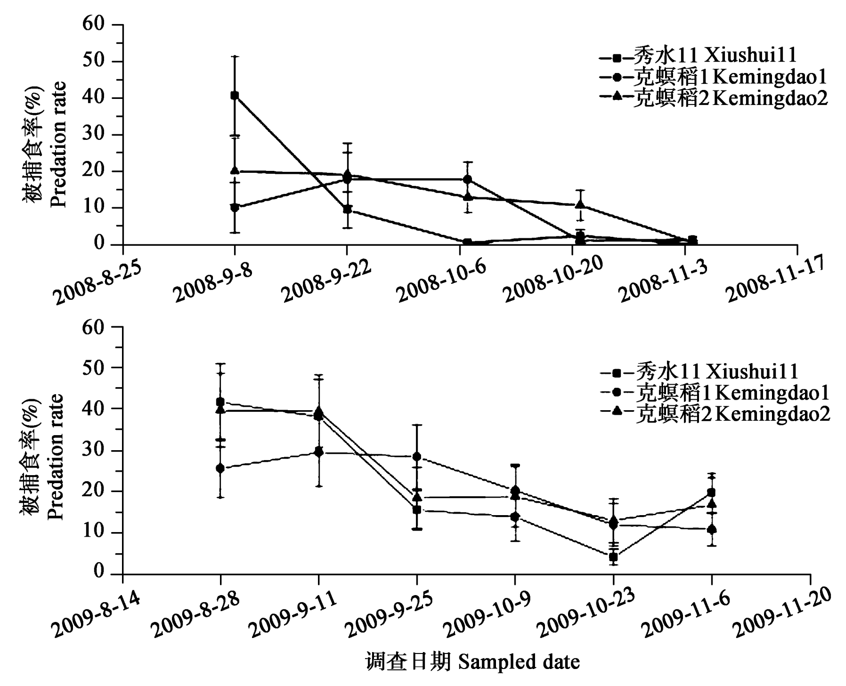


图 6　2008 和 2009 年中国水稻研究所实验农场不同水稻品系上飞虱卵被盲蝽捕食比率

Fig. 6　Percentage of planthopper eggs preyed by plant bugs on different rice lines at the Experimental Farm of China National Rice Research Institute in 2008 and 2009

2.6　飞虱卵死亡率动态

稻飞虱卵死亡率在两年两个调查地点 3 个水稻品系上没有明显一致的趋势，但在绝大部分调查时间点上 3 个水稻品系的稻飞虱卵死亡率差异均不显著(Kruskal-Wallis 检验，$P > 0.05$)。浙江大学实验农场稻飞虱卵死亡率大多维持在 30% 以下(图 7)，而中国水稻研究所实验农场则大多维持在 10% 以下(图 8)。

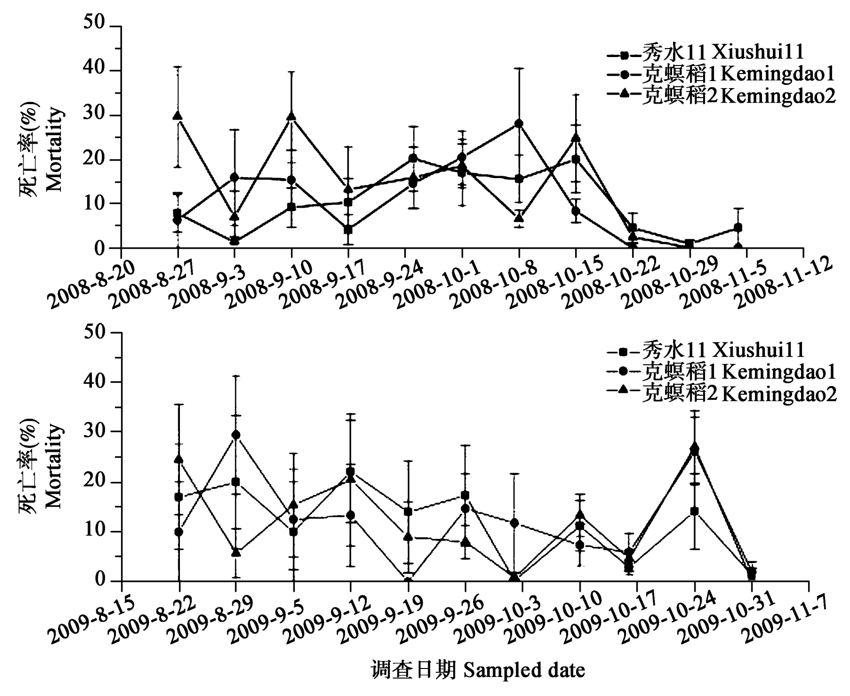


图 7　2008 和 2009 年浙江大学实验农场不同水稻品系上飞虱卵死亡率

Fig. 7　Mortality of planthopper eggs on different rice lines at the Experimental Farm of Zhejiang University in 2008 and 2009

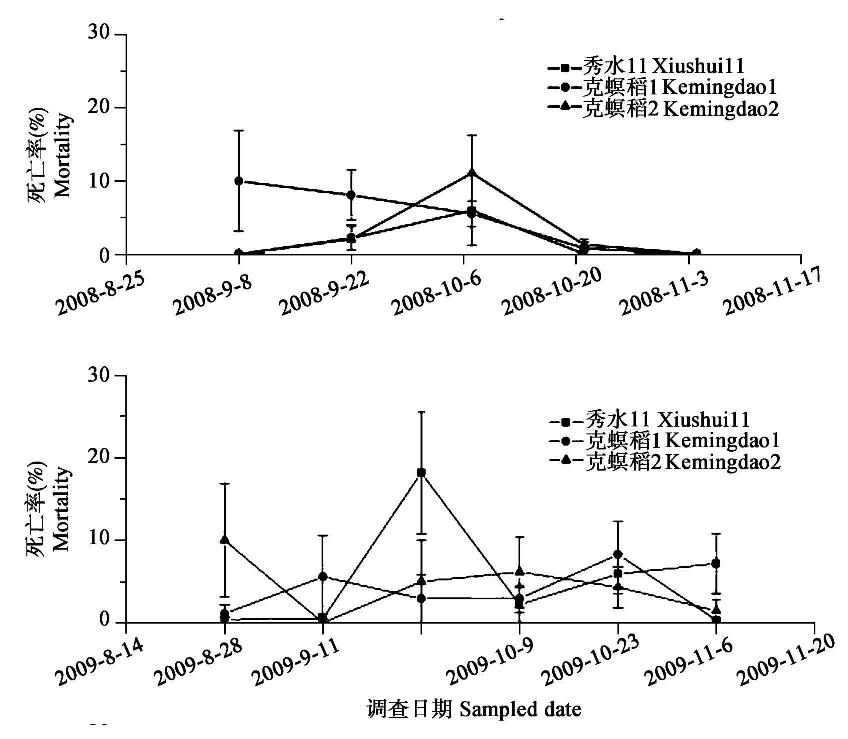


图 8　2008 和 2009 年中国水稻研究所实验农场不同水稻品系上飞虱卵死亡率

Fig. 8　Percentage of dead planthopper eggs on different rice lines at the Experimental Farm of China National Rice Research Institute in 2008 and 2009

3　讨论

室内产卵选择性实验表明，3 种稻飞虱各自对 3 个不同的水稻品系没有明显的偏好性（表 1），但是室内相同条件下褐飞虱在 3 个水稻品系上的产卵量均远高于白背飞虱和灰飞虱。本研究调查的稻田为连作晚稻田，基本上稻飞虱种群以褐飞虱和白背飞虱为主（程家安等，2008）。因此，可以推测本研究的结论主要适用于转基因水稻晚稻田中的褐飞虱种群。

本研究调查结果表明，与 2008 年相比，2009 年浙江大学实验农场和中国水稻研究所实验农场 3 个水稻品系上的稻飞虱卵被缨小蜂寄生的比率均较低，而稻飞虱卵被盲蝽捕食的比率则均较高。因此，田间稻飞虱卵被寄生的比率和被捕食的比率之间存在一定的消长关系。

虽然在水稻生长的后期，水稻分蘖中查得较高的着卵量，但大部分卵已经孵化，可能是早期累积的着卵量。中国水稻研究所实验农场在水稻生长后期 3 个水稻品系上平均每分蘖着卵量呈下降，而孵化率呈上升的趋势，因此，中国水稻研究所实验农场田间稻飞虱真正卵量应该处在一个极低的水平。

2008 年，在水稻移植的初期克螟稻 1 水稻品系上的缨小蜂寄生率要低于对照秀水 11 品系。可能由于该时期平均每分蘖飞虱着卵量较低，数量不多的寄生蜂即可造成寄生率上较大的差异。同样，中国水稻研究所实验农场 3 个水稻品系上 2008 年的缨小蜂寄生率在水稻移植的初期呈现较大的差异，这种差异也应该归结于该时期平均每分蘖着卵量较低的缘故。

谭红等（2006）认为转 *Bt* 基因水稻对白背飞虱卵的孵化率无显著的不利影响。本调查结果表明，虽然在不同的调查时间点上，3 个水稻品系上的稻飞虱卵的孵化率、被捕食率和被寄生率存在一定的差异，但是总体而言，转 *Bt* 基因水稻对田间稻飞虱卵的孵化率、被捕食率和被寄生率的总体趋势没有负面影响。

本调查中，虽然稻飞虱卵的田间自然死亡率没有呈现较一致的趋势，而且绝大部份调查时间点上 3 个水稻品系稻飞虱卵死亡率差异不显著，但是转 *Bt* 基因水稻是否影响田间稻飞虱卵的自然死亡率还有待于进一步研究。

本研究涉及 2 个转基因水稻品系处于田间中试阶段，尚未商品化生产，种植规模有限，大面积推广以后对稻飞虱卵的影响还有待推广以后进一步研究。

参 考 文 献(References)

Bai YY, Jiang MX, Cheng JA, Wang D, 2006. Effects of Cry1Ab toxin on *Propylea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae) through its prey, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae), feeding on transgenic *Bt* rice. *Environ. Entomol.*, 35(4): 1130-1136.

Bernal CC, Aguda RM, Cohen MB, 2002. Effect of rice lines transformed with *Bacillus thuringiensis* toxin genes on the brown planthopper and its predator *Cyrtorhinus lividipennis*. *Entomol. Exp. Appl.*, 102(1): 21-28.

Chen M, Liu ZC, Ye GY, Shen ZC, Hu C, Peng YF, Altosaar I, Shelton AM, 2007. Impacts of transgenic cry1Ab rice on non-target planthoppers and their main predator *Cyrtorhinus lividipennis* (Hemiptera: Miridae) - a case study of the compatibility of Bt rice with biological control. *Biological Control*, 42(2): 242-250.

Chen M, Ye GY, Hu C, Datta SK, 2003a. Effect of transgenic Bt *indica* rice on the feeding and oviposition behavior of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 30(4): 365-370. [陈茂, 叶恭银, 胡萃, Datta SK, 2003a. Bt 籼稻对褐飞虱取食、产卵行为的影响. 植物保护学报, 30(4): 365-370]

Chen M, Ye GY, Hu C, Tu J, Datta SK, 2003b. Effect of transgenic *Bt* rice on dispersal of planthoppers and leafhoppers as well as their egg parasitic wasps. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 29(1): 29-33. [陈茂, 叶恭银, 胡萃, Tu J, Datta SK, 2003b. Bt 水稻对飞虱和叶蝉及其卵寄生蜂扩散规律的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 29(1): 29-33]

Chen M, Ye GY, Lu XM, Hu C, Peng YF, Shu QY, Altosaar I, 2005. Biotransfer and bioaccumulation of Cry1Ab insecticidal protein in rice plant-brown planthopper-wolf spider food chain. *Acta Entomol. Sin.*, 48(2): 208-213. [陈茂, 叶恭银, 卢新民, 胡萃, 彭于发, 舒庆尧, Altosaar I, 2005. Cry1Ab 杀虫蛋白在水稻-褐飞虱-拟水狼蛛食物链中转移与富集. 昆虫学报, 48(2): 208-213]

Cheng JA, Zhu JL, Zhu ZR, Zhang LG, 2008. Rice planthopper outbreak and environmental regulation. *Journal of Environmental Entomology*, 30(2): 176-182. [程家安, 朱金良, 祝增荣, 章连观, 2008. 稻田飞虱灾变与环境调控. 环境昆虫学报, 30(2): 176-182]

He JH, 1991. List of Natural Enemies of Insect Pests on Rice in China. Science Press, Beijing. 80-82. [何俊华, 1991. 中国水稻害虫天敌名录. 北京: 科学出版社. 80-82]

Liu ZC, Ye GY, Hu C, Datta SK, 2002. Effects of Bt transgenic rice on population dynamics of main non-target insect pests and dominant spider species in rice paddies. *Acta Phytophylacica Sinica*, 29(2): 138-144. [刘志诚, 叶恭银, 胡萃, Datta SK, 2002. Bt 水稻对主要非靶标害虫和蜘蛛优势种田间种群动态的影响. 植物保护学报, 29(2): 138-144]

Shu QY, Ye GY, Cui HR, Xiang YB, Gao MW, 1998. Development of transgenic *Bacillus thuriengiensis* rice resistant to rice stem borers and leaf folders. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 24(6): 579-580. [舒庆尧, 叶恭银, 崔海瑞, 项友斌, 高明尉, 1998. 转基因水稻"克螟稻"选育. 浙江农业大学学报, 24(6): 579-580]

Tan H, Ye GY, Shen JH, Peng YF, Hu C, 2006. Effects of transgenic *indica* rice expressing a gene of *cry1Ab* with insect resistance on the development and reproduction of nontarget pest, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae). *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(3): 251-256. [谭红, 叶恭银, 沈君辉, 彭于发, 胡萃, 2006. 转 *cry1Ab* 基因抗虫籼稻对非靶标害虫白背飞虱发育与繁殖的影响. 植物保护学报, 33(3): 251-256]

Tian JC, Liu ZC, Yao HW, Ye GY, Peng YF, 2008. Impact of transgenic rice with a *cry1Ab* gene on parasitoid subcommunity structure and the dominant population dynamics of parasitoid wasps in rice paddy. *Journal of Environmental Entomology*, 30(1): 1-7. [田俊策, 刘志诚, 姚洪渭, 叶恭银, 彭予发, 2008. 转 *cry1Ab* 基因水稻田寄生蜂亚群落结构及其优势类群数量动态的研究. 环境昆虫学报, 30(1): 1-7]

Xiang YB, Liang ZQ, Gao MW, Shu QY, Ye GY, Cheng XY, Altosaar I, 1999. Agrobacterium-mediated transformation of insecticidal *Bacillus thuringiensis cry1A(b)* and *cry1A(c)* genes and their expression in rice. *Chinese Journal of Biotechnology*, 15(4): 494-500. [项友斌, 梁竹青, 高明尉, 舒庆尧, 叶恭银, 成雄鹰, Altosaar I, 1999. 农杆菌介导的苏云金杆菌抗虫基因 *cryIA(b)* 和 *cryIA(c)* 在水稻中的遗传转化及蛋白表达. 生物工程学报, 15(4): 494-500]

Yoshida S, Forno DA, Cock JH, Gomez KA, 1976. Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice. 3rd ed. International Rice Research Institute, Manila, Philippines. 61-64.

Yu XP, Barrion AT, Lu ZX, 2001. A taxonomic investigation on egg parasitoid, *Anagrus* of rice planthopper in Zhejiang Province. *Chinese Rice Research Newsletter*, 9(3): 8-9.

Zhao SX, Zhuo WX, Luo XN, 1993. Studies on the resource niche of mymarid egg-parasites of rice planthoppers. *Entomological Journal of East China*, 2(1): 54-59. [赵士熙, 卓文禧, 罗肖南, 1993. 稻飞虱卵寄生蜂——缨小蜂资源生态位的研究. 华东昆虫学报, 2(1): 54-59]

Zhou X, Cheng JA, Hu Y, Lou YG, 2005. Effects of transgenic *Bt* rice on the population development of *Nephotettix cincticeps*. *Chinese J. Rice Sci.*, 19(1): 74-78. [周霞, 程家安, 胡阳, 娄永根, 2005. 转 *Bt* 基因水稻克螟稻对黑尾叶蝉种群增长的影响. 中国水稻科学, 19(1): 74-78]

Zhou X, Cheng JA, Lou YG, 2006. Effects of transgenic *cry1Ab* rice on population development of the white-backed planthopper, *Sogatelle furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae). *Acta Entomol. Sin.*, 49(5): 786-791. [周霞, 程家安, 娄永根, 2006. 转 *cry1Ab* 基因水稻对非靶标昆虫白背飞虱种群增长的影响. 昆虫学报, 49(5): 786-791]

(责任编辑: 袁德成)